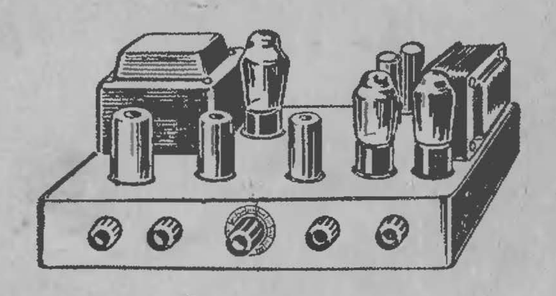
МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

В. Б. ГРИГОРОВ

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМОВ В УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ





ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1956

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 244

В. Б. ГРИГОРОВ

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМОВ В УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1956 ЛЕНИНГРАД

В брошюре, рассчитанной на подготовленного радиолюбителя, описываются некоторые мероприятия по снижению уровня шумов в высококачественных усилителях низкой частоты.

Автор *Григоров Владимир Борисович*

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМОВ В УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Редактор *Х. А. Ривкин* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Сдано в пр-во 31/I 1956 г. Подписано к печати 3/IV 1956 г.
Бумага 84×108 1/32 2 п. л. Уч.-изд. л. 2,2
Т-02495 Тираж 50 000 Цена 90 коп. Зак. № 1062

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ВВЕДЕНИЕ

При конструировании усилителей низкой частоты перед радиолюбителем обычно встает задача максимального снижения уровня шумов на выходе усилителя. Для усилителей 2-го класса решение этой задачи большей частью не представляет существенных трудностей в силу небольшого усиления, а также ограниченных требований, предъявляемых к подобного рода усилителям. Однако при конструировании высококачественных усилителей 1-го класса, обладающих, как правило, достаточно большим усилением, борьба с шумами становится одной из основных проблем, удовлетворительное решение которой наталкивается на целый ряд значительных трудностей. Особенно важно обеспечение минимального уровня шумов для усилителей записи и воспроизведения в магнитофонах, для усилителей низкой частоты, работающих от микрофона, различного рода студийных усилителей низкой частоты и т. д.

Поэтому описание некоторых схем, позволяющих снизить уровень шумов на выходе высококачественных усилителей низкой частоты, представляет определенный интерес для радиолюбителей, занимающихся конструированием и наладкой такого рода усилителей.

Под напряжением шумов усилителя низкой частоты обычно подразумевается некоторое переменное напряжение звуковой частоты на выходе усилителя при отсутствии напряжения полезного сигнала на его входе. По своему происхождению шумы на выходе усилителя могут быть подразделены на внутренние шумы, возникшие в самом усилителе, и на внешние шумы, напряжение которых поступило на вход усилителя вместе с напряжением полезного сигнала.

Очевидно, что в случае идеального «нешумящего» усилителя при нулевом входном напряжении (короткое замыкание на входе) выходное напряжение усилителя также должно быть равно нулю. Однако на выходе реального усилителя всегда имеется некоторое напряжение внутренних шумов.

Появление этого напряжения вызывается следующими причинами:

1. Различного рода наводками (фон) переменного тока промышленной частоты (50 *гц*). Сюда относится фон, обусловленный плохой фильтрацией анодного напряжения в выпрямителе. При этом на выходе усилителя присутствует 1-я гармоника выпрямленного напряжения (частота ее при однополупериодном выпрямлении составляет 50 *гц*, а при двухполупериодном выпрямлении — 100 *гц*).

2. Наводками других частот звукового диапазона, непосредственно не связанных с частотой питающего напряжения.

3. Внутренними шумами электронных ламп и элементов схемы.

В суммарном напряжении шумов на выходе усилителя обычно более 80% приходится на наводки (фон) переменного тока промышленной частоты и на его гармоники.

Помехи других частот звукового диапазона большей частью происходят по причине неровностей хода электродвигателя проигрывателя или лентопротяжного механизма, эксцентриситета диска проигрывателя или других вращающихся частей, а также в результате резких периодических изменений напряжения в сети, имеющих место при наличии крупных знакопеременных нагрузок (некоторые станки, пилорамы и т. д.). Такого рода помехи обычно поступают на вход усилителя вместе с напряжением полезного сигнала и могут быть отнесены к шумам внешнего происхождения.

В усилителях низкой частоты при их сравнительно небольшой чувствительности (в среднем 0,6 *мв*) внутренние шумы электронных ламп не имеют такого решающего значения, как, например, в каскадах усилителей высокой частоты коротковолновых и ультракоротковолновых приемников. Однако при конструировании особо высококачественных усилителей низкой частоты с большим коэффициентом усиления роль внутренних шумов первой лампы усилителя приходится все же учитывать.

Суммарный уровень шумов на выходе усилителя низкой частоты зависит от состава напряжения, поступающего на его вход. В случае, если входное напряжение содержит шумовые компоненты, то и они будут усилены в равной мере с полезным сигналом. В частности, при работе от приемника суммарный уровень шумов на выходе усилителя будет

складываться из шумов, уже имеющихся наряду с полезным сигналом на входе усилителя, и собственно внутренних шумов усилителя.

Согласно ГОСТ 5651-51 уровень фона для приемников 1-го класса не должен превышать — 40 *дб*. Для приемников амплитудной модуляции такой уровень фона является вполне приемлемым, особенно учитывая сравнительно высокий уровень напряженности поля помех в крупных городах и индустриальных центрах (10—50 *мкв*). В случае же приемников частотной модуляции требования к уровню фона могут быть значительно повышены, скажем до —60 *дб*.

К сожалению, большинство выпускаемых радиовещательных приемников и телевизоров обладает значительно повышенным (даже против нормы) уровнем фона, что становится особенно заметным при увеличении напряжения сети, а также при их включении под номинальное напряжение питания после значительного перерыва в работе.

Что же касается высококачественных усилителей низкой частоты, то при чувствительности усилителя порядка 0,2—1 *мв* наводка в несколько микровольт уже создает заметный фон на его выходе. Поэтому практически допустимым уровнем фона в этом случае можно считать —60 *дб*, хотя в некоторых особо высококачественных усилителях обеспечивается уровень фона порядка —80 *дб*.

Требования ГОСТ 5968-51 на уровень фона для усилителей 1-го и 2-го классов в настоящее время следует считать несколько заниженными, так как многие радиолюбительские конструкции уже обеспечивают значительно меньший уровень фона, чем предусмотрено ГОСТ (как известно, ГОСТ 5968-51 предусматривает уровень фона для усилителей 1-го класса не менее чем на 50 *дб* ниже уровня полезного сигнала на выходе усилителя, таким образом при чувствительности усилителя 0,5 *мв* допускается пересчитанный на вход уровень фона 0,9—1 *мкв*).

В данной брошюре рассматриваются некоторые методы борьбы с шумами в высококачественных усилителях низкой частоты. Эти методы могут быть применены в радиолюбительской практике.

МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ФОНА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ

При конструировании высококачественных усилителей борьба с фоном переменного тока обычно представляет достаточно сложную задачу. В качестве примера можно привести тот факт, что при чувствительности усилителя 0,1—0,6 *мв* наводка переменного тока порядка 4—5 *мкв* в первом каскаде усилителя создает настолько сильный фон на выходе усилителя, что нормальная работа звуковоспроизводящего устройства становится уже невозможной. Основными причинами возникновения фона переменного тока являются:

1) недостаточная фильтрация анодного напряжения (фон первой гармоники выпрямленного напряжения 100 *гц* при двухполупериодном выпрямлении);

2) недостаточная изоляция между нитью накала и катодом в первых лампах усилителя, а также недостаточная тепловая инерционность катодов этих ламп (фон 50 *гц*);

3) появление напряжения частоты переменного тока и его гармоник на деталях схемы, расположенных вблизи силового трансформатора, дросселя фильтра и т. д.;

4) наличие в первых каскадах усилителя недостаточно хорошо экранированных элементов схемы, обладающих высоким сопротивлением, а поэтому особо подверженных наводкам переменного тока (сопротивления порядка 1 *мгом* и выше, высокоомные дроссели и т. д.);

5) несимметричное заземление проводов накала или использование шасси в качестве одного из проводов накала.

Борьба с фоном переменного тока может вестись по двум основным направлениям:

а) устранение самих причин появления фона (например, улучшение качества фильтрации анодного напряжения, перевод питания накала ламп предварительного усилителя на постоянный ток, более рациональный монтаж и экранировка отдельных узлов усилителя и т. д.);

б) применение компенсационного метода, заключающегося в искусственном введении в состав сигнала напряжения, имеющего ту же частоту, что и напряжение фона, и находящегося с ним в противофазе.

Рассмотрим подробнее эти методы борьбы с фоном переменного тока.

Улучшение качества фильтрации анодного напряжения

Значительное повышение качества фильтрации анодного напряжения может быть достигнуто посредством увеличения индуктивности дросселя фильтра до 30—40 *гн*, увеличения емкости конденсаторов фильтра до 40—80 *мкф*, использования двойного П-образного фильтра и т. д. Для этой же цели применяется шунтирование анодов кенотрона на землю конденсаторами емкостью порядка 0,01—0,02 *мкф*.

Часто увеличение уровня фона вызывается повышенной утечкой электролитических конденсаторов фильтра, что в свою очередь может быть вызвано работой электролитического конденсатора при повышенной температуре (например при расположении конденсатора слишком близко от кенотрона или мощной выходной лампы и т. д.).

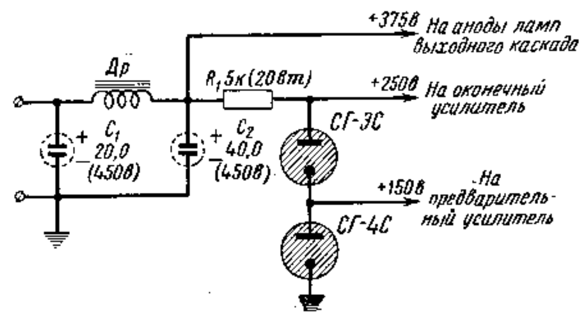
Резкое увеличение утечки и перегрев электролитических конденсаторов наблюдаются также при их включении после продолжительного хранения (более 2—3 мес.) сразу под номинальное рабочее напряжение. Поэтому вновь устанавливаемые электролитические конденсаторы перед включением должны подвергаться формовке, заключающейся в постепенном доведении рабочего напряжения конденсатора до номинального.

При рабочем напряжении электролитического конденсатора 450 *в* формовка может производиться путем выдерживания конденсатора в течение 10—15 мин. под напряжением 50—70 *в* с последующим повышением напряжения скачками через 4—5 мин. по 20 *в* до номинального. При номинальном напряжении и нормальной температуре исправные электролитические конденсаторы обычно имеют утечку 0,025—0,05 *ма/мкф*.

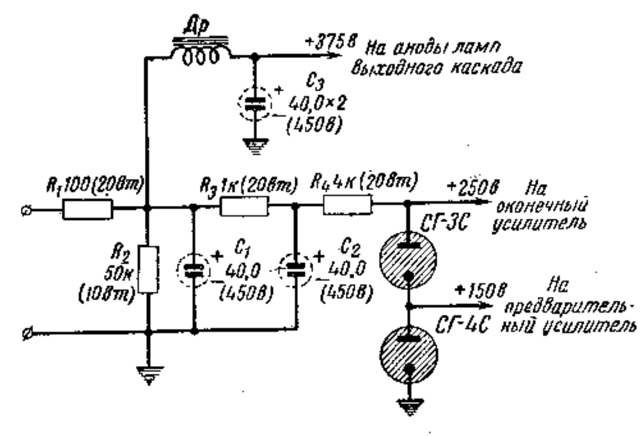
Значительное улучшение фильтрации может быть достигнуто заменой выходного конденсатора фильтра двумя соединенными последовательно газовыми стабилизаторами типов СГ-3С и СГ-4С (фиг. 1). Подключение газовых стабилизаторов вместо выходного конденсатора фильтра эквивалентно подключению большой емкости (около 500 *мкф*), что, помимо хорошей фильтрации анодного напряжения,

дает возможность значительно улучшить фазовую характеристику усилителя в области низших частот.

При использовании достаточно глубокой обратной связи требования к линейности фазовой характеристики в области низших частот возрастают. В этом случае приходится отка-



Фиг. 1. Схема фильтра выпрямителя с использованием газовых стабилизаторов.



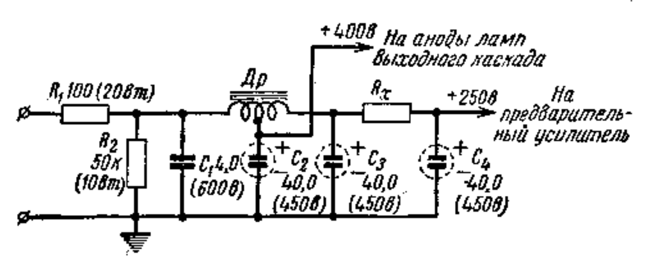
Фиг. 2. Схема фильтра выпрямителя с использованием газовых стабилизаторов, позволяющая получить улучшенную фазовую характеристику усилителя.

зываться и от дросселя фильтра, применяя вместо него сопротивление (фиг. 2). Это дает возможность опустить нижнюю границу частотного диапазона усилителя до частот порядка 20—30 *гц*.

Таким способом можно питать все каскады высококачественного усилителя, за исключением выходного, поскольку газовые стабилизаторы типов СГ-3С и СГ-4С имеют сравни-

тельно небольшие пределы стабилизации по току (от 5 до 30 *ма*).

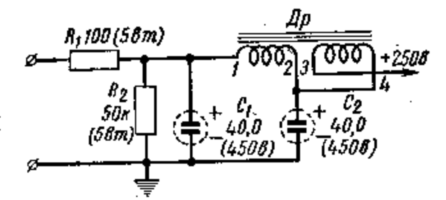
Питание мощного выходного каскада можно осуществлять обычным способом, применяя на выходе фильтра конденсатор в 80—120 *мкф*. Дроссель фильтра рекомендует-



Фиг. 3. Схема фильтра выпрямителя с отводом от части обмотки дросселя.

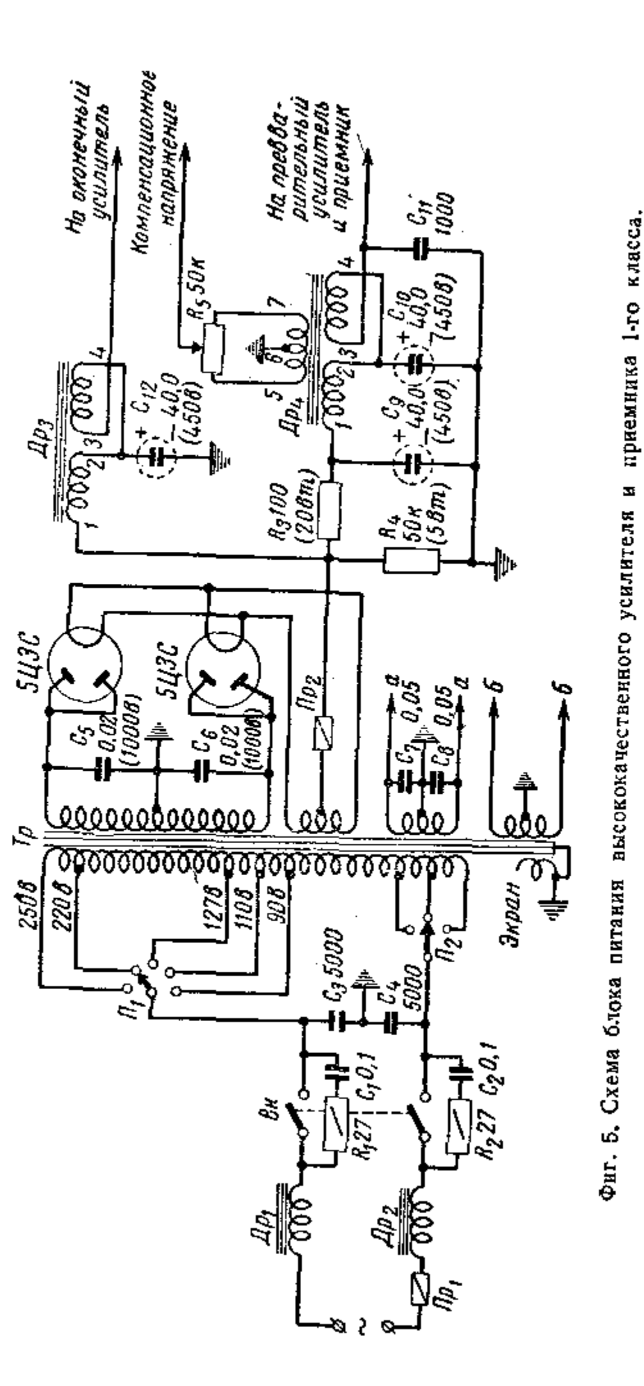
ся выполнять с отводом от части обмотки на емкость 30—40 *мкф* (фиг. 3), что также улучшает фильтрацию.

Высокое качество фильтрации и хорошая форма фазовой характеристики в области низших частот могут быть получены и при помощи особой схемы включения дросселя (фиг. 4). Как видно из схемы, дроссель *Др* состоит из двух равных секций *1—2* и *3—4*, включенных навстречу друг другу. При этом магнитные потоки, создаваемые постоянной составляющей протекающего по секциям дросселя тока, взаимно компенсируются (как и в двухтактных выходных трансформаторах), что дает возможность пропускать через дроссель большие по постоянной составляющей токи без какой-либо опасности насыщения сердечника. Переменная же составляющая целиком отфильтровывается секцией *1—2* дросселя.



Фиг. 4. Схема фильтра с двухсекционным дросселем.

На фиг. 5 изображена схема блока питания высококачественного усилителя и приемника 1-го класса, в котором использована подобная схема включения дросселя. В ней для питания предварительного и оконечного усилителей применены два отдельных фильтра с двухсекционными дросселями $Др_3$ и $Др_4$, секции *1—2* и *3—4* которых соединены



Фиг. 5. Схема блока питания высококачественного усилителя и приемника 1-го класса.

в обратных направлениях. Применение раздельных фильтров, помимо высокого качества фильтрации, обеспечивает хорошую развязку между предварительным и оконечным усилителями. Выходным элементом каждого фильтра является секция *3—4* дросселя. Конденсатор C_{11} на выходе дросселя $Др_4$ служит для развязки по высокой частоте и не является, таким образом, выходным элементом фильтра.

Дроссель $Др_4$ имеет еще и компенсационную обмотку *5—7* с заземленной средней точкой *6*. К этой обмотке подключен потенциометр R_5, с которого снимается компенсационное напряжение нужной амплитуды и фазы для подачи на катод первой лампы предварительного усилителя (фиг. 14).

Собранные по такой схеме дроссели фильтра обеспечивают весьма высокое качество фильтрации при меньших (примерно в 2 раза) по сравнению с обычными размерах пакета сердечника.

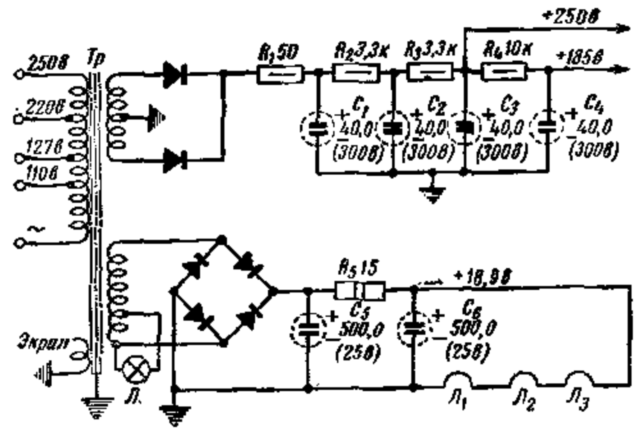
Учитывая небольшое потребление тока предварительным усилителем (обычно не более 10—20 *ма*), дроссель $Др_4$ можно выполнить со значительно бо́льшим числом витков, чем у дросселя $Др_3$. Для обеспечения большой стабильности нагрузочного режима кенотронов на входе фильтров включены сопротивления R_3 и R_4, служащие, кроме того, для предупреждения резких бросков напряжения на электролитических конденсаторах фильтра при включении выпрямителя, когда лампы усилителя еще не начали потреблять ток (для этой же цели служат сопротивления R_1 и R_2 в схемах выпрямителей, изображенных на фиг. 3 и 4).

Первичная обмотка силового трансформатора *Тр* подключается в сеть через дроссели $Др_1$ и $Др_2$ индуктивностью по 60 *мгн*. Они вместе с конденсаторами C_3 и C_4 защищают цепи питания от проникновения различных высокочастотных помех из электросети. Эти же дроссели предупреждают излучение в электросеть различных помех, связанных с переходными процессами при включении и выключении питания выпрямителя. Цепи R_1C_1 и R_2C_2, шунтирующие выключатель *Вк*, служат для той же цели. Кроме того, они предотвращают обгорание контактов выключателя.

В особо ответственных случаях используются выпрямители с электронной стабилизацией, однако в любительских конструкциях они применяются сравнительно редко ввиду значительного усложнения схемы.

Питание нитей накала ламп предварительного усилителя постоянным током

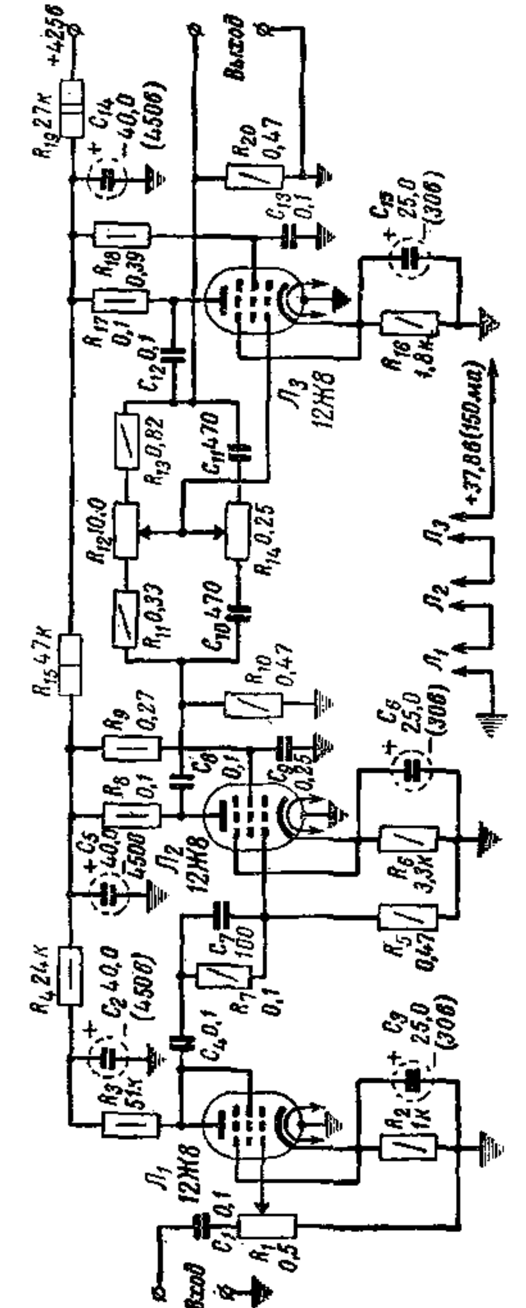
Недостаточная изоляция между нитью накала и катодом, а также малая тепловая инерция катода первой лампы предварительного усилителя являются причинами того, что даже при питании анодов ламп строго постоянным напряжением (например, от аккумуляторов) на выходе усилителя все же имеется фон переменного тока (50 *гц*). При сравнительно небольшой чувствительности усилителя (порядка



Фиг. 6. Схема блока питания предварительного усилителя с отдельным выпрямителем для питания нитей накала ламп постоянным током.

0,5—1 *в*) этот фон почти незаметен, однако при повышении чувствительности до 0,01—0,005 *в* фон переменного тока становится уже значительным.

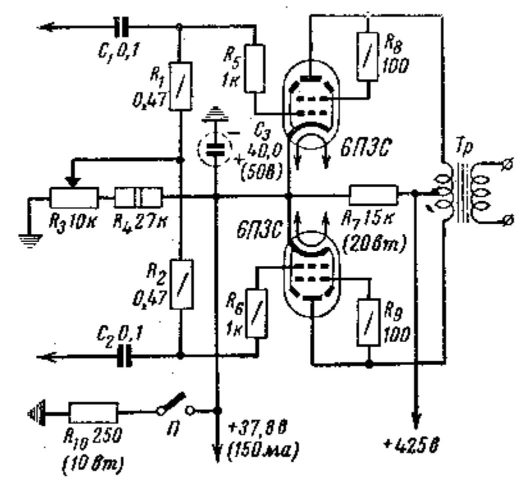
Для высококачественных усилителей низкой частоты уровень фона должен быть не выше —60 *дб*. Это значит, что при напряжении полезного сигнала на входе усилителя порядка 0,5 *в* уровень фона должен быть не более 0,5 *мв* В этом случае весьма действенной мерой является перевод питания нитей накала ламп предварительного усилителя на постоянный ток. Для этого удобно применить купроксный или селеновый выпрямитель, собранный по мостовой схеме (фиг. 6). Нити накала ламп (в данном случае трех двойных триодов 6Н2П) выгоднее соединять последовательно. При этом для получения соответствующего напряжения на выходе (18,9 *в*) обмотка трансформатора должна



Фиг. 7. Схема предварительного усилителя с питанием нитей накала ламп постоянным током.

рассчитываться так, чтобы напряжение холостого хода (без вентилей) было около 20 *в*.

В некоторых случаях питание постоянным током нитей накала ламп предварительного усилителя можно осуществить и без устройства специального выпрямителя. На фиг. 7 приводится схема предварительного усилителя на трех лампах 12Ж8, нити накала которых питаются анодным током ламп выходного каскада (фиг. 8) и одновремен-



Фиг. 8. Выходной каскад, осуществляющий питание нитей накала ламп предварительного усилителя постоянным током

но служат катодным сопротивлением автоматического смещения для ламп этого каскада.

На накал трех ламп 12Ж8 предварительного усилителя при последовательном соединении нитей необходимо при токе 150 *ма* подать напряжение 37,8 *в*. Выходной каскад на двух лампах 6П3С в триодном включении дает падение напряжения на катодном сопротивлении около 39 *в* при токе 125 *ма*. Недостающий для питания нитей накала ток в 25 *ма* отводится на анодной цепи через сопротивление R_7, которое, кроме того, предохраняет еще электролитические конденсаторы фильтра от резких бросков напряжения при включении выпрямителя (аналогично сопротивлениям R_1 и R_2 в схемах на фиг. 3 и 4). При неиспользовании предварительного усилителя катоды выходных ламп соединяют переключателем *П* с сопротивлением катодного смещения R_{10}.

Такую же схему можно применить и для питания нитей накала двух ламп или одной лампы предварительного усилителя, подобрав при помощи сопротивления необходимый для этого ток. По такому же способу можно питать и нити накала ламп других типов. Этот способ питания накала ламп предварительного усилителя может быть с успехом применен при конструировании радиовещательных приемников 1-го класса.

Меры конструктивно-монтажного порядка

Уровень фона на выходе высококачественного усилителя сильно зависит от правильной компоновки его деталей и качества монтажа.

Во избежание наводок первые каскады усилителя надо располагать возможно дальше от силового трансформатора или дросселя фильтра.

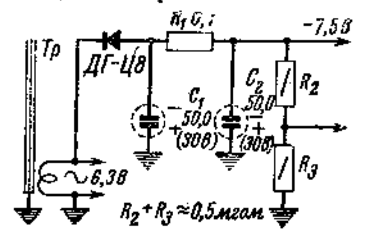
В особо ответственных случаях рекомендуется заключать входную лампу в заземленный стальной экран или же использовать в качестве входной лампы металлические пентоды типа 6Ж8 или 12Ж8 в триодном включении. Как показал опыт, лампы типа 6Ж8 в триодном включении имеют весьма низкий уровень внутренних шумов, очень стабильны по параметрам и мало подвержены наводкам.

В тех случаях, когда усилитель имеет достаточно высокую чувствительность, на входе следует применять специально отобранные триоды типа 6С2С, как наименее шумящие лампы. Такую лампу следует поместить в достаточно толстый стальной экран, прочно привинченный к шасси. Для устранения микрофонного эффекта ламповую панельку нужно укрепить на амортизирующих прокладках или подвесить на растяжных пружинках.

В первых каскадах чувствительных высококачественных усилителей нужно по возможности избегать применения высокоомных сопротивлений, так как они могут служить источником всевозможных наводок и шумов. Так, например, не рекомендуется применять в схемах регулировки громкости и тембра сопротивления величиной более 1 *мгом*. Корпуса этих сопротивлений следует заземлять. Рекомендуется переменные сопротивления для регулировки громкости и тембра помещать в специальный экран вместе с деталями, входящими в схему регулировки.

Соединение подверженных наводкам точек схемы следует выполнять экранированным проводом.

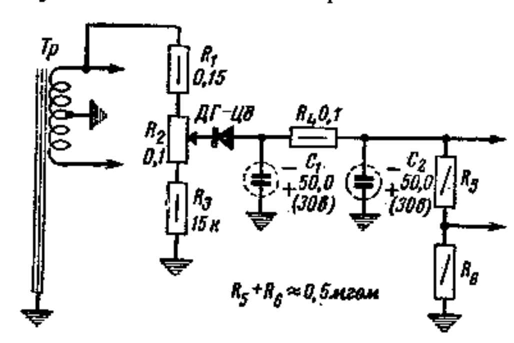
Сопротивления катодного смещения в первых каскадах усилителя заметно повышают уровень фона. Фон значительно снижается, если эти сопротивления блокированы конденсаторами достаточно большой емкости (25—50 *мкф*).



Фиг. 9. Схема источника отрицательного напряжения с питанием от накальной обмотки силового трансформатора.

Хорошие результаты дает использование проволочных сопротивлений, а также подача в цепь накала ламп небольшого постоянного положительного смещения (+5 ÷ 10 *в*). Снижение фона при этом в основном происходит за счет уменьшения амплитудного значения напряжения, действующего между катодом и нитью накала (поскольку катод имеет положительный потенциал относительно земли за счет падения напряжения на сопротивлении автоматического смещения).

Наличие сопротивлений автоматического катодного смещения приводит к заметному снижению усиления лампы. Поэтому в тех случаях, когда сопротивление катодного смещения не служит для создания обратной связи по току или



Фиг. 10. Схема источника отрицательного напряжения с питанием от повышающей обмотки силового трансформатора.

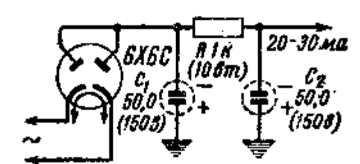
не связано с цепью обратной связи по напряжению, можно рекомендовать применение смещения от отдельного источника отрицательного напряжения.

На фиг. 9 и 10 приведены схемы подобных источников. В схеме фиг. 9 напряжение на вентиль типа ДГ-Ц8 подается от накальной обмотки силового трансформатора *Тр*,

в схеме фиг. 10 — от повышающей обмотки через делитель $R_1R_2R_3$. Фильтры таких схем обеспечивают очень хорошее сглаживание, поскольку работа схемы протекает практически без расхода мощности.

В качестве вентилей можно применять купроксные и селеновые выпрямители, германиевые диоды и т. д. Можно также использовать схему выпрямления на двойном диоде типа 6Х6С (фиг. 11).

Смещение от отдельного источника выгодно применять и для двухтактных усилителей мощности, особенно класса АВ. В этом случае значительно увеличивается мощность, повышается стабильность и уменьшаются искажения. Например, при использовании триодов типа 6С4С таким путем можно увеличить выходную мощность на 50% и уменьшить искажения на 50—60%.



Фиг. 11. Схема источника отрицательного напряжения с использованием лампы 6Х6С.

Отметим, что часто применяемая схема получения отрицательного напряжения смещения с сопротивления в 10—50 *ом* в цепи средней точки повышающей обмотки силового трансформатора дает значительное увеличение уровня фона на выходе усилителя.

При монтаже высококачественных усилителей можно рекомендовать использование в анодных цепях ламп сопротивлений с несколько повышенным запасом по мощности, так как при нагревании сопротивлений возрастает уровень тепловых шумов и, кроме того, наблюдаются значительные изменения величины сопротивления (имеются в виду сопротивления типа ВС). Следует иметь в виду, что величина некоторых сопротивлений (например, типа ВС) может измениться при нагревании их во время припайки. Очень удобны для использования в высококачественных усилителях сопротивления типа МЛТ, обладающие малыми размерами и высокой стабильностью.

Значительное понижение фона может быть достигнуто путем устройства специальной «нулевой» шины. Ее можно изготовить из толстого залуженного провода, один конец которого заземляется в точке входа сигнала. Такая шина обеспечивает надежный контакт между элементами схемы и препятствует появлению на шасси различных блуждающих токов, что в целом и способствует уменьшению фона.

Вообще при монтаже следует иметь в виду, что переходные сопротивления контактов на шасси в результате оксидирования алюминия с течением времени могут увеличиться до десятков, а иногда и до сотен тысяч ом. Известны случаи, когда такие «контакты» не могли быть пробиты даже напряжением в 500 *в*.

Частным источником фона переменного тока оказываются провода, идущие к выключателю питания, особенно если выключатель питания спарен с регулятором громкости. Поэтому в высококачественных усилителях выключатель электросети рекомендуется помещать отдельно и возможно дальше от входных цепей усилителя.

Касаясь конструктивного оформления высококачественных усилителей, отметим, что в особо ответственных случаях усилитель выполняется в виде двух блоков — предварительного усилителя и оконечного усилителя.

Предварительный усилитель выполняется обычно в виде небольшого блока на двух-трех лампах пальчиковой серии. В нем помещаются регуляторы громкости, регуляторы усиления верхних и нижних частот и т. д. Как правило, для питания предварительного усилителя используется только постоянное напряжение, что обеспечивает полное отсутствие наводок переменного тока и весьма низкий уровень фона (до —80 *дб*).

Оконечный усилитель чаще всего выполняется совместно с блоком питания и соединяется с предварительным усилителем экранированным кабелем.

В заключение отметим, что указанные выше меры борьбы с фоном переменного тока большей частью сопряжены с известными трудностями. Поэтому ниже мы разберем некоторые легче осуществимые и более доступные радиолюбителям меры борьбы с фоном.

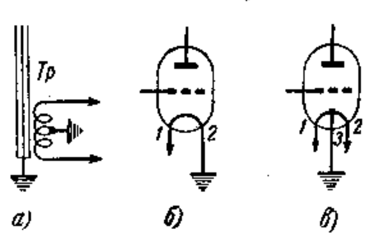
Компенсационные методы устранения фона

Эффективным методом борьбы с фоном является применение различных компенсационных схем. Сущность этого метода заключается в том, что на сетку или катод какой-либо лампы предварительного усилителя (обычно первой лампы) подается напряжение с частотой фона, причем фаза и амплитуда этого напряжения подбираются так, чтобы обеспечивалось полное устранение фона на выходе усилителя.

Следует, однако, заметить, что усилитель в этом случае должен обладать «нормальным» уровнем фона, т. е. должен

иметь нормально работающий фильтр, так как иначе подача слишком больших компенсирующих напряжений на сетку или катод лампы усилителя может вызвать переход рабочей точки лампы на нелинейный участок характеристики, что увеличит нелинейные искажения.

Наиболее простой схемой компенсации является использование накальной обмотки с заземленной средней точкой (фиг. 12,*а*). Работу такой схемы можно представить следующим образом. Предположим, что в лампе прямого накала, питаемой переменным током, заземлен конец ее нити накала *2* (фиг. 12,*б*). Тогда между управляющей сеткой и концом ее нити *1* будет действовать переменное напряжение накала, в результате чего анодный ток лампы будет промодулирован этим переменным напряжением. Если же заземлить среднюю точку нити накала лампы (фиг. 12,*в*), то переменное напряжение накала, действующее между концами этой нити *1—2* и сеткой лампы, будет по абсолютной величине в 2 раза меньше, чем в первом случае, и, кроме того, в противофазе, в результате чего анодный ток не будет промодулирован переменным напряжением накала. То же самое происходит и при заземлении средней точки накальной обмотки силового трансформатора.

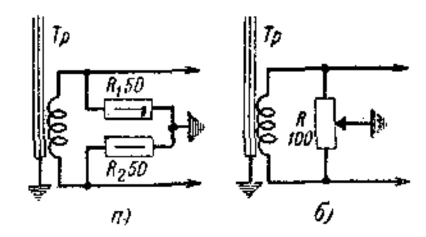


Фиг. 12. Уменьшение фона путем заземления средней точки накальной обмотки силового трансформатора.

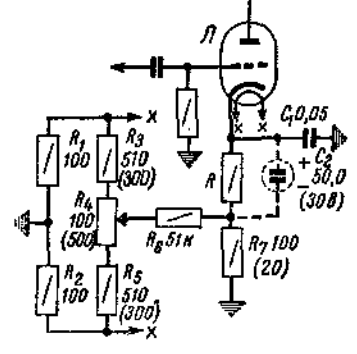
Из сказанного следует, что даже при использовании ламп с косвенным накалом заземление одного из концов нити накала нежелательно, так как это создает повышенный уровень фона на выходе усилителя, тем более, что некоторые образцы ламп имеют пониженную изоляцию между нитью накала и катодом.

В случае использования готового силового трансформатора, не имеющего вывода от средней точки накальной обмотки, можно создать искусственную среднюю точку. Для этого надо заземлить оба вывода накальной обмотки трансформатора *Тр* через равные сопротивления R_1 и R_2 по 50—100 *ом* (фиг. 13,*а*). Еще лучше применить для этого переменное проволочное сопротивление *R* в 50—100 *ом* (фиг. 13,*б*), вращением ползунка которого добиваются минимального уровня фона на выходе усилителя.

Более совершенная компенсационная схема устранения фона приведена на фиг. 14. Здесь нити накала лампы *Л* заземляются через сопротивления R_1 и R_2. Вращая ползунок переменного сопротивления R_4, можно подавать компенсирующее напряжение различной амплитуды и фазы на сопротивление R_7, являющееся частью сопротивления автоматического смещения лампы. Образующееся на этом сопротивлении падение напряжения воздействует на проме-



Фиг. 13. Простейшие компенсационные схемы.



Фиг. 14. Компенсационная схема с подачей компенсирующего напряжения на катод лампы.

жуток сетка — катод лампы и вызывает появление соответствующего компенсирующего напряжения в составе анодного тока лампы. Конденсатор C_1 служит для уменьшения напряжения наводок других частот, могущих проникнуть в цепи лампы вместе с компенсирующим напряжением.

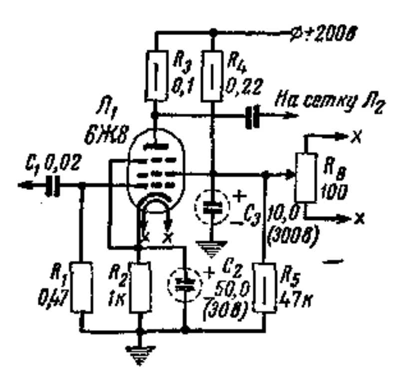
В том случае, когда сопротивление *R* шунтируется большой емкостью (т. е. при отсутствии обратной связи по току), величины сопротивлений R_3, R_4, R_5 и R_7 необходимо изменить до указанных на фиг. 14 в скобках значений.

При отсутствии сопротивления R_7 компенсирующее напряжение можно подавать непосредственно на катод лампы, однако при этом эффективность компенсации снижается примерно в 2 раза.

Для устранения фона переменного тока можно также применить схему компенсации на экранную сетку пентода (фиг. 15).

Во всех рассмотренных схемах компенсации использовалось напряжение частотой 50 *гц*. Однако в составе анодного напряжения имеются гармоники частот более высокого порядка (например, 100 *гц* при двухполупериодном выпрямлении), которые не могут быть скомпенсированы указанными схемами.

Для устранения этих гармоник может служить дроссель фильтра, имеющий дополнительную компенсационную обмотку с заземленной средней точкой (фиг. 5). Плечи *5—6* и *6—7* компенсационной обмотки дросселя фильтра $Др_4$ создают на плечах переменного сопротивления R_5 противоположное по фазе падение напряжения, форма которого в точности соответствует форме переменной составляющей напряжения анодного питания. Это позволяет компенсировать фон, связанный с недостаточной фильтрацией анодного напряжения.



Фиг. 15. Компенсационная схема с подачей компенсирующего напряжения на экранную сетку пентода.

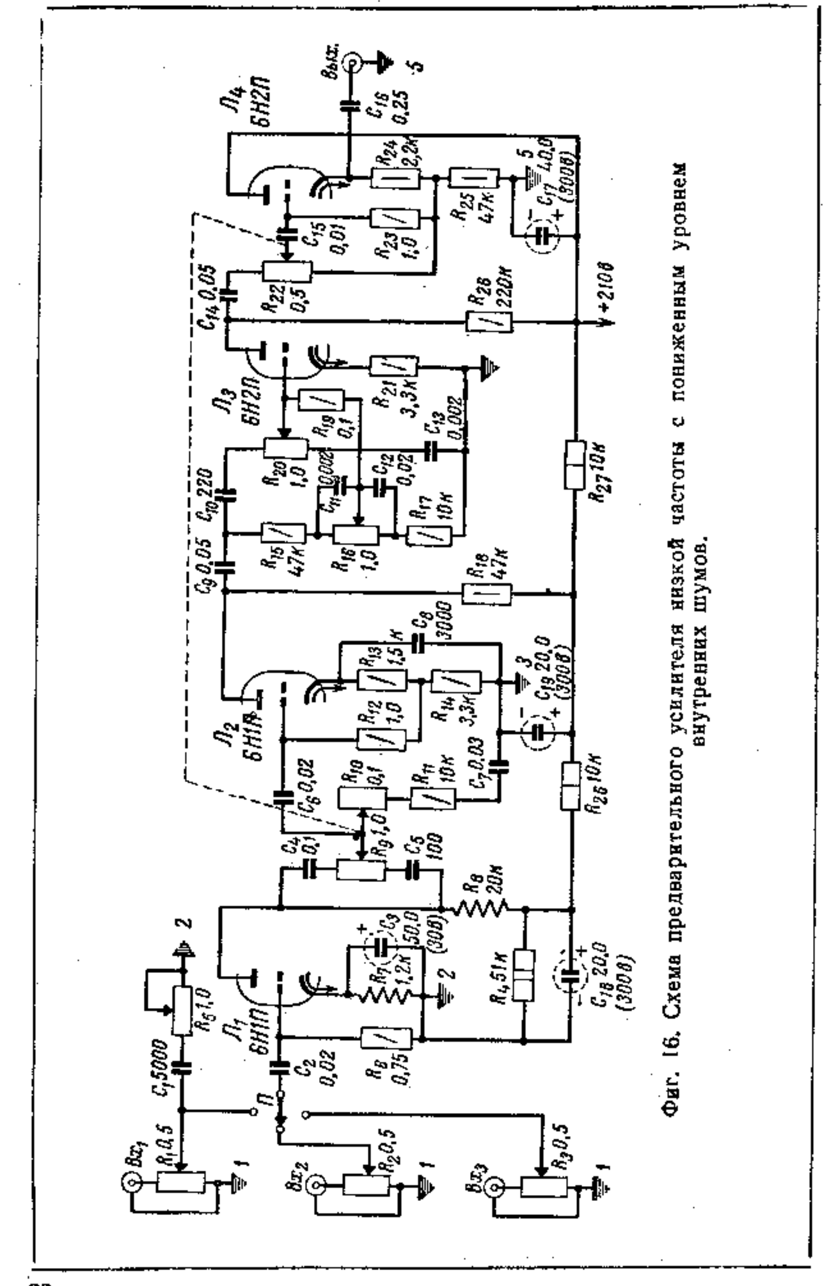
Использование последней схемы фиг. 5 совместно с одной из компенсационных схем фиг. 14 или 15 позволяет добиться практически полного уничтожения фона (до 90 *дб* ниже уровня полезного сигнала) и может быть рекомендовано при разработке высококачественных усилителей.

УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С МИНИМАЛЬНЫМ УРОВНЕМ ФОНА

Регулировку компенсационных схем, а также некоторые вопросы конструктивно-монтажного порядка, связанные с устранением фона, удобнее всего разобрать на примере конкретной схемы усилителя.

На фиг. 16 и 17 показаны схемы усилительных блоков одного из высококачественных усилителей с уровнем фона — 80 *дб*.

В предварительном усилителе (фиг. 16) размещены все необходимые органы управления (регулятор громкости, регуляторы верхних и нижних частот и переключатель рода работы). Обе его лампы заключены в специальный магнитный экран и имеют мягкое крепление ламповых панелек, что защищает их от наводок и микрофонного эффекта. Регулятор громкости (R_9, R_{10} и R_{22}) с входящими в его схему деталями также заключен в магнитный экран, полностью предохраняющий его от электростатических и магнитных наводок. Такие же меры проведены и в отношении переклю-



Фиг. 16. Схема предварительного усилителя низкой частоты с пониженным уровнем внутренних шумов.

чателя рода работ (*П*), а также регулятора верхних и нижних частот.

Все переменные сопротивления должны быть проверены на отсутствие шорохов, тресков, разрывов цепи при крайних положениях и на плавное нарастание величины сопротивления, начиная от нуля. Сопротивления R_7 и R_8 взяты проволочные с допуском $\pm 5\%$. Электролитические конденсаторы должны быть проверены на утечку, которая при нормальном напряжении не должна быть выше 0,05 *ма/мкф*. Все остальные конденсаторы — слюдяные с допуском $\pm 5\%$.

Заземления необходимо производить в указанном на схеме порядке, с начала общей шины, изготовленной из толстого посеребренного провода и заземленной на корпус только в месте входа усилителя.

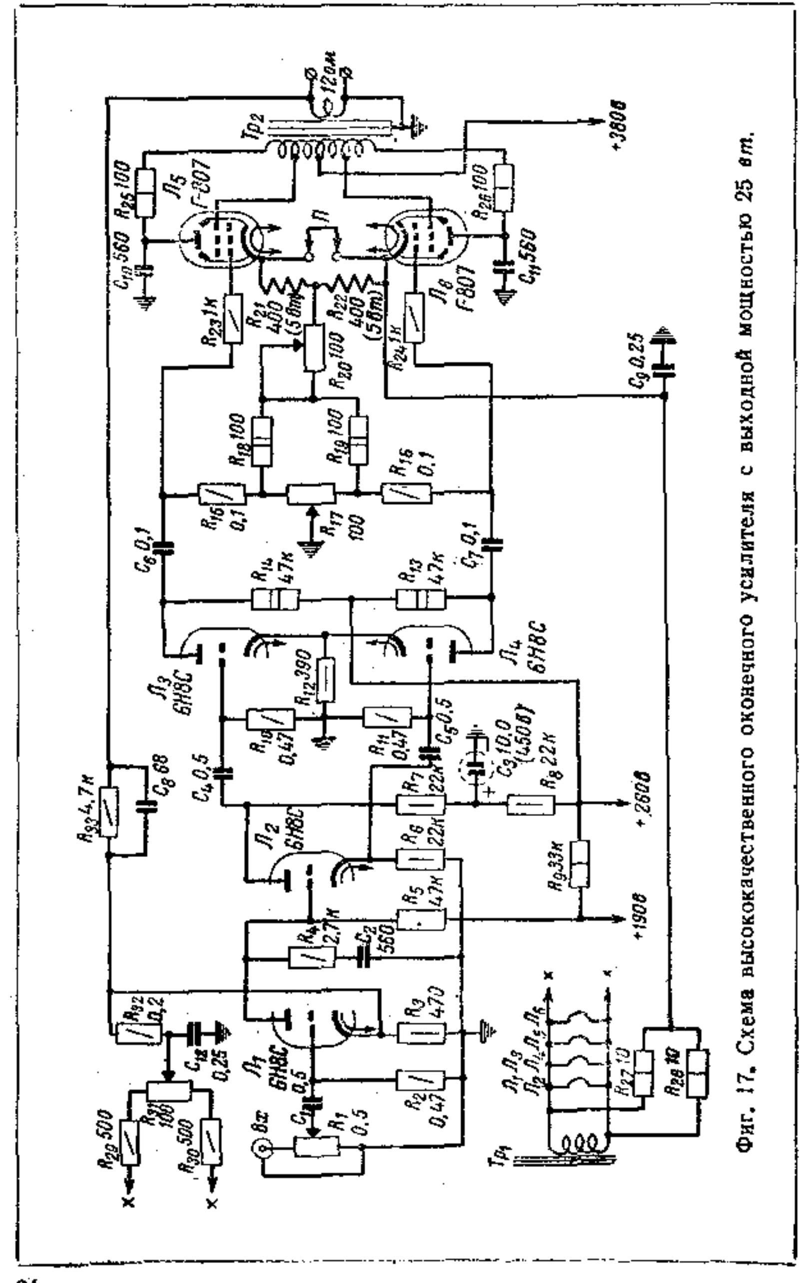
Для монтажа деталей рекомендуется использовать расшивочные панельки из хорошего изоляционного материала (не текстолита), причем расстояния между соседними лепестками панельки должны быть не менее 1 *см*. Пайка должна обеспечивать достаточно жесткое крепление деталей и надежный электрический контакт. При пайке на плохо облуженную жесть переходные сопротивления могут достигать нескольких десятков ом, поэтому следует вообще избегать пайки на лепестки из жести.

Выходным каскадом предварительного усилителя является катодный повторитель, после которого сигнал по экранированному кабелю (типа РК-1) поступает на оконечный усилитель. Наличие катодного повторителя позволяет применять соединительный кабель любой длины, без какого-либо влияния на частотный спектр передаваемого сигнала.

Оконечный усилитель (фиг. 17) собран на одном шасси с блоком питания. Все регулировки в нем производятся лишь при его налаживании и сводятся в основном к балансировке выходных ламп и к компенсации фона.

Зависимые от частоты регулировки в оконечном усилителе отсутствуют, что позволяет охватить усилитель глубокой отрицательной частотно-зависимой обратной связью, напряжение которой, снимаемое со вторичной обмотки (12 *ом*) выходного трансформатора $Тр_2$, вводится в цепь катода лампы $Л_1$. В эту же цепь вводится также напряжение с сопротивления R_{31}, которое компенсирует напряжение фона.

Регулировка сопротивления R_{31} производится обычным для компенсационных схем порядком, т. е. при положениях



Фиг. 17. Схема высококачественного оконечного усилителя с выходной мощностью 25 *вт*.

регуляторов тембра, обеспечивающих максимальный подъем нижних и завал верхних частот, и при полностью введенном регуляторе громкости. Вход предварительного усилителя при этом необходимо закоротить. Для достижения более точной компенсации регулировку рекомендуется производить при несколько повышенном (на 5 — 10%) напряжении питания.

Усилитель можно достаточно точно отрегулировать на слух по минимальному уровню фона на его выходе. Более точную регулировку можно получить при использовании измерителя выхода типа ИВ-4, присоединенного параллельно звуковой катушке громкоговорителя. После того как усилитель отрегулирован, на его выходе не должно прослушиваться никаких следов фона, т. е. должно быть невозможно различить на слух, включен усилитель или нет (при закороченном входе предварительного усилителя).

Как видно из схемы, анод усилительной лампы $Л_1$ оконечного усилителя непосредственно соединен с сеткой фазоинверторной лампы $Л_2$. Получающееся при этом на сетке лампы $Л_2$ положительное напряжение компенсируется напряжением положительного смещения с катодного сопротивления R_6. Такое включение фазоинвертора дает возможность значительно улучшить фазовую характеристику усилителя в области нижних частот.

Обратные по фазе напряжения, снимаемые с выхода фазоинвертора, усиливаются лампами $Л_3$ и $Л_4$ и подаются на управляющие сетки мощных выходных ламп $Л_5$ и $Л_6$. Потенциометр R_{20} служит для выбора рабочих точек выходных ламп, а при помощи потенциометра R_{17} производится точная балансировка выходного каскада.

Для производства балансировки необходимо разомкнуть перемычку *П* и включить вместо нее точно установленный на нуль вольтметр с пределом измерения 3 *в*. Вращая потенциометр R_{17}, добиваются равенства анодных токов обеих выходных ламп, что будет при нулевом показании прибора.

После производства балансировки следует вновь замкнуть перемычку *П* и приступить к регулировке рабочих точек выходных ламп. При этом потенциометр R_{20} вращают до получения номинальной величины смещения на управляющих сетках ламп, что может быть установлено при помощи высокоомного вольтметра.

Затем следует еще раз тщательно проверить симметричность схемы, включив для этого вместо перемычки *П* вольт-

метр, и при необходимости провести соответствующую регулировку.

Получающееся на катодах выходных ламп постоянное положительное напряжение подается на среднюю точку накальной обмотки силового трансформатора Tp_2. Тем самым нити накала всех ламп оконечного усилителя получают постоянное положительное смещение, что, как уже указывалось, значительно снижает уровень фона.

Выходные лампы оконечного усилителя включены по особой схеме включения.

Как известно, при соединении экранных сеток ламп непосредственно с их анодами будет иметь место триодное включение ламп, которое характеризуется весьма низким выходным сопротивлением усилителя, малыми нелинейными и интермодуляционными искажениями, низкой чувствительностью выходного каскада и сравнительно малой выходной мощностью. При соединении же экранных сеток на среднюю точку первичной обмотки выходного трансформатора получается обычное тетродное включение ламп, которое отличается высоким выходным сопротивлением усилителя, повышенными (по сравнению с триодным включением) нелинейными и интермодуляционными искажениями, высокой чувствительностью выходного каскада и большой выходной мощностью.

При передвижении точек отвода на экранные сетки от анодных выводов до средней точки первичной обмотки выходного трансформатора получается ряд схем «промежуточного» включения выходных ламп, которые при правильном выборе точек отвода сочетают в себе преимущества тетродного и триодного включения и вместе с тем свободны от их недостатков. Заметим, что такая схема включения выходных ламп не будет простой схемой с обратной связью и представляет собой особую схему включения выходных ламп.

При включении выходных ламп по подобной схеме выходная мощность лишь незначительно снижается (при правильном выборе точек отвода на экранные сетки). Однако нелинейные искажения оказываются значительно меньшими, чем при триодном включении.

Оптимальным расположением точек отвода на экранные сетки является 24% витков обмотки, считая от ее средней точки. При таком расположении отводов данная схема по сравнению с обычными схемами включения имеет следующие преимущества: 1) большая выходная мощность (около 90—95% от мощности при тетродном включении); 2) низкое выходное сопротивление (по сравнению с тетродным включением оно уменьшается больше чем в 10 раз); 3) более равномерная частотная характеристика по всему диапазону по сравнению с тетродным или триодным включением; 4) минимальные нелинейные и интермодуляционные искажения.

Используя в выходном каскаде лампы Г-807, от усилителя при указанном включении ламп можно получить 25—30 *вт* неискаженной мощности (с лампами 6П3С 10—15 *вт*).

Все преимущества описанной схемы могут быть полностью реализованы лишь при использовании весьма высококачественного выходного трансформатора, который должен иметь максимальную нелинейность ± 1 *дб* в диапазоне от 10 *гц* до 100 *кгц* (при нагрузке на эквивалентное активное сопротивление).

В целом оконечный усилитель имеет линейную характеристику в пределах ± 1 *дб* от 20 *гц* до 20 *кгц*, при выходной мощности в 25 *вт* и нелинейных искажениях не более 1% (при максимальной выходной мощности). В заключение приведем некоторые соображения относительно монтажа и конструктивного оформления оконечного усилителя.

Усилитель нужно собирать только из высококачественных и тщательно проверенных деталей. Сопротивления R_{21} и R_{22} должны быть обязательно проволочными и величины их не должны отклоняться от номинала более чем на ± 1%. Сопротивления R_6 и R_7, R_{10} и R_{11}, R_{13} и R_{14}, R_{15} и R_{16} и в особенности R_{21} и R_{22} берутся равными друг другу в пределах точности изменения прибором ТТ-1. Все переходные конденсаторы проверяются на утечку, а конденсаторы C_4 и C_5, C_6 и C_7 берутся соответственно равными друг другу. Для обеспечения минимального уровня шумов все заземления должны производиться на нулевую шину, которая соединяется с шасси только в точке ввода сигнала (*Вх*). Для устранения возможности микрофонного эффекта оконечный усилитель должен быть хорошо амортизирован.

БОРЬБА С ПОМЕХАМИ НА ДРУГИХ ЧАСТОТАХ ЗВУКОВОГО ДИАПАЗОНА

Как уже упоминалось, помехи других частот звукового диапазона большей частью проникают в усилитель вместе с полезным сигналом или же в некоторых случаях через цепи питания. Причинами таких помех могут быть:

1) неравномерности хода электродвигателя проигрывателя или лентопротяжного механизма;

2) эксцентриситет диска проигрывателя или других вращающихся частей;

3) периодические, происходящие со звуковой частотой колебания напряжения питающей сети;

4) шумы, имеющиеся в составе поступающего на вход усилителя полезного сигнала.

Борьбу с такого рода помехами можно вести как по линии устранения самих причин, так и по линии использования различных фильтров, сводящих вредное воздействие этих помех до минимума.

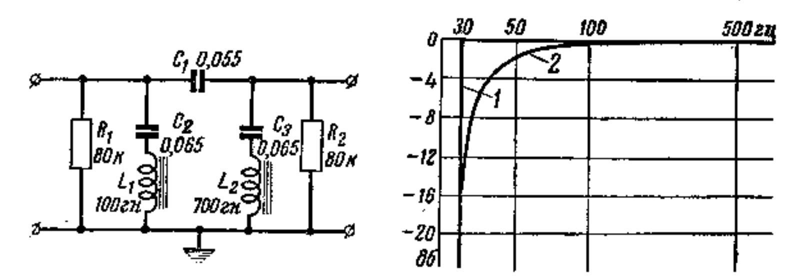
Меры борьбы с помехами в области нижних частот звукового диапазона

Современные высококачественные звуковоспроизводящие устройства, как правило, работают в весьма широком диапазоне частот, причем нижняя граница этого диапазона в некоторых случаях доходит до 20—30 *гц*. На этих частотах начинают резко сказываться различные факторы механического порядка, создаваемые неровностями хода электродвигателя проигрывателя или лентопротяжного механизма и другими явлениями динамического разбаланса вращающихся частей. Усиливаясь вместе с полезным сигналом, эти помехи вызывают крайне нежелательные мощные колебания громкоговорителя, приводящие большей частью к значительным нелинейным искажениям. Аналогичные явления, приводящие к увеличению нелинейных искажений, могут наблюдаться и в самом усилителе.

Следует отметить, что большинство выпускаемых проигрывателей при работе с широкополосным усилителем оказывается совершенно неудовлетворительным. Наиболее часто встречающимися недостатками проигрывателей являются эксцентриситет диска (диск «плавает»), динамический разбаланс якоря электродвигателя и других вращающихся частей, плохая центровка подшипников и т. д.

В большинстве случаев частота паразитных колебаний, вызываемых указанными явлениями, лежит в пределах 1—40 *гц* и в каждом конкретном случае может быть различной.

Для точного определения частоты паразитных колебаний можно воспользоваться бланк-пластинкой (пластинкой, записанной при снятой модуляции) и неоновой лампочкой, питаемой от звукового генератора. Свет от неоновой лампочки каким-либо образом фокусируют на колеблющейся части диффузора (например, на выводах звуковой катушки) и частоту звукового генератора изменяют до тех пор, пока освещенная часть диффузора не будет казаться неподвижной. Учитывая, что неоновая лампочка вспыхивает 2 раза за период, можно легко подсчитать частоту паразитных колебаний диффузора, которая будет, очевидно, равна удвоенной частоте звукового генератора. Определив частоту



Фиг. 18. Фильтр подавления нижних частот и его частотная характеристика.

паразитных колебаний, можно рассчитать параметры фильтра, обеспечивающего максимальное затухание на этой частоте.

Схема одного из подобных фильтров приведена на фиг. 18. Расчет элементов этого фильтра можно произвести на основании определенной описанным выше способом частоты паразитных колебаний f_n по упрощенным формулам:

$$C_1 = \frac{106\,000}{f_n \cdot R};$$

$$C_2 = C_3 = \frac{125\,000}{f_n \cdot R};$$

$$L_1 = L_2 = \frac{0{,}21 \cdot R}{f_n},$$

где f_n — частота помехи, *гц*;

R — характеристическое сопротивление фильтра, *ом*;

C_1, C_2 и C_3 — емкость, *мкф*;

L_1 и L_2 — индуктивность, *гн*.

Для обеспечения нормальной работы фильтра он должен быть нагружен со стороны входа и выхода на сопротивления, равные характеристическому (R_1 и R_2 на фиг. 18), так как иначе возникают нежелательные явления отражения. При воспроизведении эти явления обнаруживаются по своеобразной окраске звука, напоминающей гавайскую гитару. Величину сопротивления R_1 и R_2 можно подобрать в зависимости от имеющихся в наличии индуктивностей L_1 и L_2. Если частота паразитных колебаний f_n оказалась, скажем, равной 24 *гц*, а индуктивность $L_1 = L_2 = 700$ *гн*, то

$$R_1 = R_2 = \frac{L \cdot f_n}{0{,}21} = \frac{700 \cdot 24}{0{,}21} = 80\,000 \text{ ом}.$$

Остальные элементы фильтра равны:

$$C_1 = \frac{106\,000}{24 \cdot 80\,000} = 0{,}055 \text{ мкф};$$

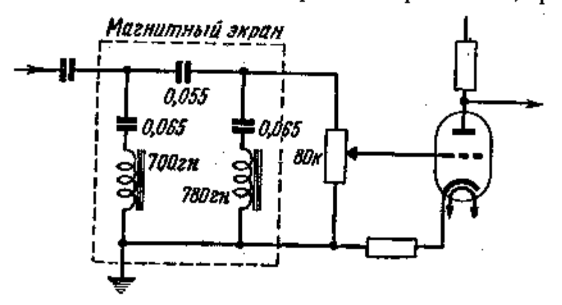
$$C_2 = C_3 = \frac{125\,000}{24 \cdot 80\,000} = 0{,}065 \text{ мкф}.$$

На фиг. 18 приведены данные фильтра, являющиеся оптимальными во многих случаях. Там же показана его частотная характеристика, изображенная линией *2*. Такой вид характеристики соответствует добротности индуктивностей фильтра $Q = 4$, измеренной на частоте 30 *гц*. Применение индуктивностей с большей добротностью повышает крутизну спада частотной характеристики и уменьшает нежелательный завал в области частоты среза фильтра. При этом частотная характеристика фильтра будет приближаться к характеристике идеального фильтра (линия *1*). При конструировании фильтра удобнее вначале подыскать подходящие индуктивности с известными L и Q, а затем вычислить величины остальных его элементов (C и R). Возможный вариант включения такого фильтра в схему усилителя показан на фиг. 19. Во избежание наводок фильтр должен иметь надежный магнитный экран.

Фильтры можно применять без ущерба для качества звучания только в тех случаях, когда частота паразитных колебаний не превышает предела, определяемого нижней границей воспроизводимых частот звуковоспроизводящего устройства. Для наиболее высококачественных устройств эта граница простирается до 25—30 *гц*, поэтому применение фильтров с частотой среза, превышающей этот предел, всегда идет в ущерб качеству звучания на низших частотах.

В подобных случаях можно рекомендовать принятие мер механического порядка.

Колебания напряжения сети, происходящие с очень низкой частотой, обычно являются следствием переменных реактивных и активных нагрузок в цепи. Весьма эффективным методом борьбы с этим видом помех является применение феррорезонансных стабилизаторов напряжения, различных



Фиг. 19. Включение фильтра подавления нижних частот в схему усилителя.

схем электронной стабилизации и т. д. Можно также рекомендовать увеличение выходной емкости сглаживающего фильтра выпрямителя до 80—120 *мкф* и соответствующее увеличение индуктивности дросселя (до 40—50 *гн*). Электролитические конденсаторы фильтра в этом случае следует шунтировать по высокой частоте слюдяными конденсаторами емкостью в 5 000 — 10 000 *пф*.

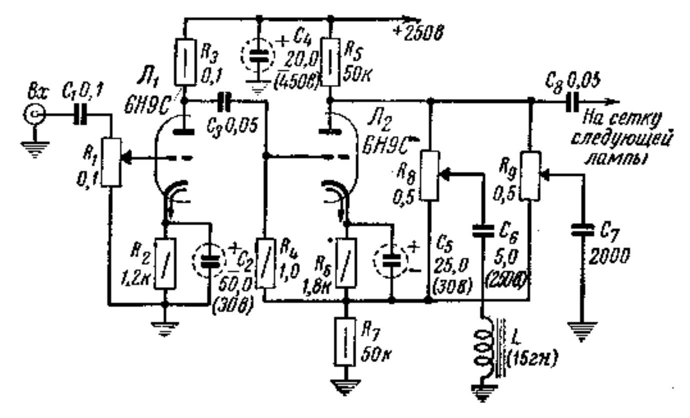
Меры борьбы с помехами в области верхних частот звукового диапазона

В высокочастотной области звукового диапазона частым источником помех являются различного рода атмосферные разряды, интерференционные свисты, шумы промышленного происхождения и т. д. В крупных городах уровень помех в разное время суток обычно колеблется от 5 до 50—70 *мкв*. Относительное качество воспроизведения звука (при работе от приемника) в этих случаях можно повысить путем ограничения диапазона воспроизводимых частот до 9 *кгц* и ниже. Подобные же меры можно рекомендовать и при воспроизведении граммзаписи для устранения «шипения».

Большинство практически используемых регуляторов тембра на триодах имеют, как правило, слишком узкие пределы регулировки (в лучшем случае $\pm 10 \div 12$ *дб*) для того, чтобы их можно было достаточно эффективно исполь-

зовать. Однако имеется ряд специальных схем, которые дают возможность осуществлять эффективные регулировки тембра в значительно больших пределах.

На фиг. 20 приводится схема предварительного усилителя на триодах с регулировкой тембра в пределах ±20 *дб* по нижним и ±20 *дб* по верхним звуковым частотам. При крайних верхних (по схеме) положениях движков потенциометров R_8 (регулятор нижних частот) и R_9 (регулятор

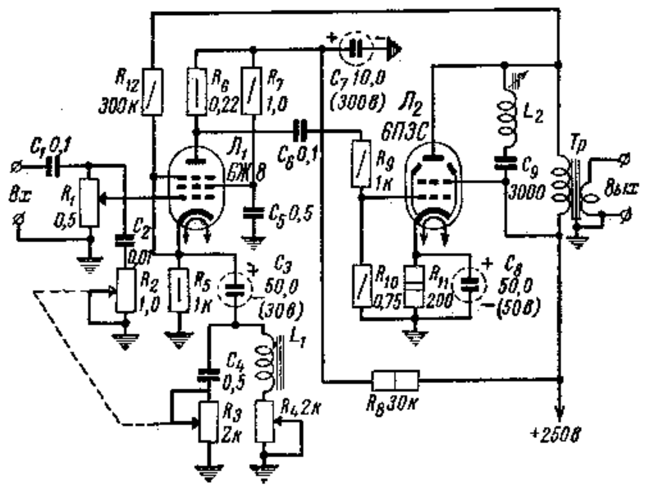


Фиг. 20. Схема предварительного усилителя на триодах с широким диапазоном регулировки тембра.

верхних частот) будет осуществляться резкий завал как нижних, так и верхних частот. При передвижении же движков вниз будет, наоборот, осуществляться сильный подъем соответствующих частот за счет шунтирования сопротивления R_7 последовательным контуром C_6L (нижние частоты) и емкостью C_7 (верхние частоты).

Еще более широкие пределы регулировки тембра могут быть получены при использовании пентодов, поскольку они обладают значительно большим запасом по усилению. Например, схема предварительного усилителя на пентодах, приведенная на фиг. 7, позволяет производить регулировки в пределах от +25 до —20 *дб* по нижним (потенциометр R_{12}) и от +10 до —30 *дб* по верхним частотам (потенциометр R_{14}). При крайних левых (по схеме) положениях движков потенциометров R_{12} и R_{14} производится сильный подъем как нижних, так и верхних частот. При крайних же правых положениях их движков получается завал соответствующих частот в результате действия сопротивлений самих потенциометров, а также из-за сильной отрицательной

обратной связи через емкость C_{12} и соответствующие цепи регулировки. Усиление на частоте 1 000 *гц* не зависит от положения регуляторов тембра. В усилителе применены пентоды 12Ж8, поскольку они дают возможность использовать соединенные последовательно нити накала этих ламп в качестве сопротивления автоматического смещения выходного двухтактного каскада и тем самым осуществить пи-



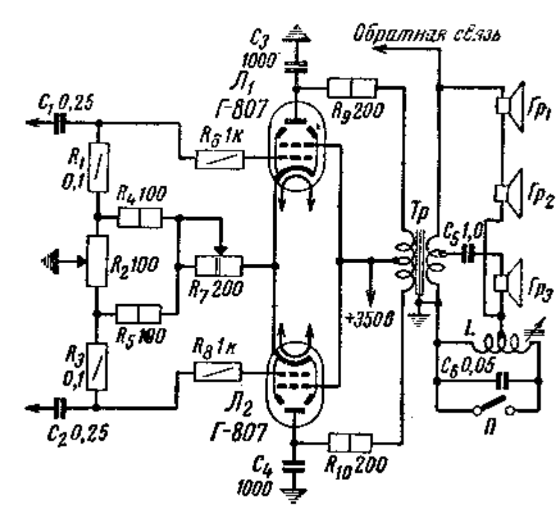
Фиг. 21. Схема широкодиапазонной регулировки тембра.

тание накала ламп предварительного усилителя постоянным током (см. стр. 12). При другой схеме питания накала ламп пентоды 12Ж8 можно заменить эквивалентными пентодами 6Ж8.

Достаточно широкие пределы регулировки тембра (±20 *дб*) допускает также схема, приведенная на фиг. 21. В ней регулировка тембра на верхних и нижних частотах осуществляется за счет частотно-зависимого перераспределения токов между ветвями C_4R_3 и L_1R_4 в цепи катода лампы $Л_1$. Сопротивлениями R_2 и R_3 осуществляется дополнительная регулировка верхних частот.

Для ослабления шумов, возникающих при проигрывании граммофонных пластинок, можно также рекомендовать шунтирование первичной обмотки выходного трансформатора последовательным контуром, настроенным на частоту 9 *кгц* (контур L_2C_9 на фиг. 21). Как показали исследования, спектр шумов, создаваемых иглой при проигрывании пласти-

нок (шипение), в основном располагается в области 7—9 *кгц*. В этой же области располагаются и шумы, обусловливаемые различного рода атмосферными разрядами, интерференционными свистами и другими помехами. Известно, что сопротивление последовательного контура на резонансной частоте весьма мало. Поэтому включение такого контура, настроенного на частоту 9 *кгц*, дает возможность вырезать наиболее неприятную часть частотного спектра



Фиг. 22. Схема двухтактного выходного каскада с фильтром на 9 *кгц*, включенным во вторичную обмотку выходного трансформатора.

помех и тем самым сделать звучание значительно более чистым.

На фиг. 22 показана схема выходного двухтактного каскада с фильтром LC_6 на 9 *кгц*, включенным на вторичную обмотку выходного трансформатора *Тр*. Здесь этот фильтр представляет собой параллельный контур, одна секция катушки индуктивности которого включена последовательно между вторичной обмоткой выходного трансформатора и звуковыми катушками громкоговорителей. Сопротивление параллельного контура на резонансной частоте велико, поэтому фильтр, настроенный на 9 *кгц*, не будет пропускать к громкоговорителям напряжения частот этого порядка.

Настройка подобных фильтров производится при помощи звукового генератора типа ЗГ-2А или ЗГ-10, подключаемого

на вход звукоснимателя, и измерителя выхода типа ИВ-4, подключаемого на выход параллельно звуковой катушке громкоговорителя. Звуковой генератор устанавливают на частоту 9 *кгц*, и вращением магнетитового сердечника катушки фильтра настраивают фильтр на эту частоту по минимальному показанию выходного прибора.

Все указанные здесь меры можно особенно рекомендовать для усилителей низкой частоты в приемниках с амплитудной модуляцией, поскольку при приеме амплитудной модуляции резкий срез частотной характеристики в области верхних звуковых частот дает возможность значительно ослабить вредное действие помех и шумов и тем самым повысить качество звучания.

Внутренние шумы электронных ламп и деталей схемы

Как уже указывалось выше, при достаточно высокой чувствительности усилителя низкой частоты (порядка 0,2—1 *мв*) значительную роль в общем спектре шумов на выходе усилителя составляют внутренние шумы первых ламп усилителя и относящихся к ним деталей схемы.

Основной причиной внутренних шумов электронных ламп является дробовой эффект, проявляющийся в том, что на анод лампы в какие-то малые единицы времени прибывают разные порции электронов, вызывающие флюктуации анодного тока лампы, которые при соответствующем усилении воспринимаются на выходе усилителя как звук падающей дроби.

Кроме этого, значительную роль играет так называемый фликер-эффект (эффект мерцания), заключающийся в перемежающейся неравномерности эмиссии с различных участков катода лампы. Фликер-эффект проявляется особенно резко при работе лампы в режиме недокала.

Значительно меньшую роль играют шумы теплового происхождения в нагрузочных сопротивлениях первых ламп усилителя. Поэтому при чувствительности усилителя менее 0,5 *мв* ими можно пренебречь. Однако при более высокой чувствительности (порядка 0,1 *мв*) и при больших входных сопротивлениях (порядка 1 *мгом*) тепловые шумы становятся уже заметными.

Обычно уровень шумов усилительных ламп характеризуется эквивалентным сопротивлением шумов $R_ш$, под которым подразумевается величина такого эквивалентного активного сопротивления, на котором при комнатной темпе-

ратуре получается напряжение шумов, равное напряжению шумов лампы, пересчитанному в цепь управляющей сетки.

Известно, что шумовое сопротивление триода обратно пропорционально его крутизне S:

$$R_ш = \frac{2{,}5 \div 3}{S} \text{ (если } S \text{ в } ма/в, \text{ то } R \text{ в } ком).$$

Таким образом, лампы с большой крутизной обладают меньшим шумовым сопротивлением. Объясняется это тем, что с увеличением крутизны ток сигнала в анодной цепи лампы увеличивается быстрее, чем шумовой ток.

Известно также, что уровень внутренних шумов резко возрастает с увеличением числа сеток лампы. Это объясняется искривлением электронных путей в многосеточной лампе, созданием областей так называемого «кажущегося катода» при некоторых режимах лампы и т. д. Так, например, у пентодов уровень внутренних шумов обычно в 4—5 раз больше, чем у триодов.

Уровень внутренних шумов лампы также зависит от величины сопротивления автоматического катодного смещения и с увеличением этого сопротивления имеет тенденцию к возрастанию. Блокирование этого сопротивления емкостью порядка 50—100 *мкф* дает значительное снижение уровня шумов. Хорошие результаты дает также подача на нити накала ламп постоянного положительного относительно катода смещения порядка 10—15 *в*.

В итоге можно рекомендовать следующие меры, направленные на снижение уровня внутриламповых шумов усилителя:

1. В первых каскадах усилителя следует применять триоды с большой крутизной (6Н15 и 6Н1П). В особо ответственных случаях нужно производить индивидуальный отбор ламп по минимальному уровню шума на выходе усилителя (регуляторы тембра и громкости при этом должны быть полностью введены).

2. Первая лампа усилителя должна иметь нормальный накал или даже небольшой перекал (6,5—6,8 *в* при номинальном напряжении накала 6,3 *в*).

3. На нити накала рекомендуется подавать постоянное положительное смещение около 10—15 *в*, для чего можно использовать падение напряжения на сопротивлении автоматического смещения выходных ламп усилителя (фиг. 17).

4. Следует по возможности избегать применения сопротивлений автоматического смещения в первых лампах усилителя, используя вместо этого фиксированное смещение от специального высокостабильного источника отрицательного напряжения (см. стр. 16). При использовании же сопротивления автоматического смещения его надо шунтировать достаточно большой емкостью. В тех случаях, когда сопротивление автоматического смещения служит также и для введения напряжения отрицательной обратной связи, рекомендуется использовать стабильные проволочные сопротивления или малошумящие малогабаритные сопротивления типа МЛТ, шунтируя их емкостью в 3 000—5 000 *пф*.

5. В цепях первой лампы предварительного усилителя не следует применять высокоомных сопротивлений (более 500 *ком*), так как это значительно увеличивает опасность появления различных наводок.

6. Для достижения минимального уровня фона необходимо особенно тщательно подобрать напряжение анодного питания первой лампы усилителя.

7. В анодных цепях ламп рекомендуется использовать детали с двойным запасом по мощности, так как нагрев деталей увеличивает уровень шумов и вызывает повышенный разброс параметров.

Как показал опыт, тщательное выполнение описанных в данной брошюре различных мероприятий делает вполне возможным достижение весьма низкого уровня фона при высокой чувствительности усилителя.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ДАННЫЕ СЕЛЕНОВЫХ ШАЙБ ДЛЯ ПИТАНИЯ НИТЕЙ НАКАЛА ЛАМП ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Диаметр шайбы, *мм*	Максимально допустимое значение выпрямленного тока $I_{0\,доп}$, *ма*		Максимальная амплитуда обратного напряжения на одну шайбу, *в*	Эквивалентное расчетное сопротивление r_i на одну шайбу в прямом направлении для $I_{0\,доп}$, *ом*
	При однополупериодной схеме	При двухполупериодной схеме		
30	125	250	25	6
35	140	280	25	5
45	275	550	25	2,5
50	330	660	25	2

Примечание. Если выпрямленный ток $I_0 < I_{0\,доп}$, то эквивалентное расчетное сопротивление на одну шайбу определяется по формуле

$$r_i = r_{i\,табл}\sqrt{\frac{I_{0\,доп}}{I_0}}.$$

СОДЕРЖАНИЕ